

УДК 621.56/59

Ю.А. Очеретяный

Одесская национальная морская академия, ул. Дирихсона, 8, г. Одесса, 65029

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СУДОВОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В статье рассмотрены вопросы, связанные с определением отклонений и характера неисправностей судовых холодильных установок по определяемым изменениям теплотехнических характеристик в процессе их эксплуатации.

Ключевые слова: Теплотехнические характеристики – Реальный цикл – Судовая холодильная установка

ВИЗНАЧЕННЯ ВІДХИЛЕНЬ ФУНКЦІОNUВАННЯ СУДНОВОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

У статті розглянуті питання, пов'язані з визначенням відхилень і характеру несправностей суднових холодильних установок по визначеному змінам теплотехнічних характеристик в процесі їх експлуатації.

Ключові слова: Теплотехнічні характеристики – Реальний цикл – Судова холодильна установка

DETERMINATION OF SHIP REFRIGERATION PLANT FUNCTIONING DEVIATIONS DURING OPERATION

The issues related to the definition of deviations and nature of the failure of ship refrigeration plants defined by changes in the thermal characteristics in the process of their operation are considered in the article.

Keywords: Thermal performance – Real cycle – Ship refrigeration plant

I. ВВЕДЕНИЕ

Вопросы своевременного и корректного диагностирования, и как следствие квалифицированного технического обслуживания и ремонта рефрижераторного оборудования судна в условиях отдаленности от береговых сервисных служб становятся особо актуальными. Заключительным этапом диагностирования судовых холодильных установок (СХУ) является определение отклонений функционирования и характера неисправности по определенному изменению теплотехнических

характеристик в процессе их эксплуатации. Исследуя реальный цикл путем определения термодинамических параметров в характерных точках СХУ, можно оценить отклонения $lg P-h$ диаграммы от нормы и, исходя из этого, определить характер неисправности. Практически измеряются температура и давление в характерных точках холодильной машины, ток двигателя компрессора, перегрев испарителя, переохлаждение конденсатора, и т.д..(табл.1)

II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Таблица 1 – Определение изменений теплотехнических характеристик реального цикла СХУ

Теплотехническая величина	Расчетная формула или способ определения, единица измерения	Числовое значение и сравнение реальной и нормально-допустимой величин	Числовое значение и вектор отклонения реальной величины
Давление всасывания компрессора ($P_{bc}=(P_0)$.	Измеряется на всасыв. линии компрессора, бар.	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$
Давление нагнетания компрессора ($P_n=(P_k)$.	Измеряется на нагн. линии компрессора, бар.	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$
Температура всасывания компрессора ($T_{bc}=(T_1)$	Измеряется на всасыв. линии компрессора, °C.	- $\geq \leq$ -	- $\uparrow \downarrow$

Продовження таблиці 1

Температура нагнета- ння компресора (T_h)=(T_2)	Измеряется на нагн. ли- нии компресора, °C.	- ≥ ≤ -	- ↑↓
Температура ХА перед TPB (T_5)	Измеряется на жидкост- ной линии перед TPB, °C.	- ≥ ≤ -	- ↑↓
Температура забортной воды на входе в конд. (t_{w1}).	Измеряется на линии подачи забортной воды в конденсатор, °C.	- ≥ ≤ -	- ↑↓
Температура забортной воды на выходе из конд. (t_{w2}).	Измеряется на линии выхода забортной воды из конденсатора, °C.	- ≥ ≤ -	- ↑↓
Температура кипения хол.агента (T_0).	Измеряется на ребре ис- парителя, °C.	- ≥ ≤ -	- ↑↓
Температура воздуха в холодильной камере ($t_{кам}$)	Измеряется в воздушном пространстве камеры, °C.	- ≥ ≤ -	- ↑↓
Давление кипения (P_0).	Из построенного цикла $P_0=f(T_0)$, бар.	- ≥ ≤ -	- ↑↓
Давление конденсации (P_k).	Из построенного цикла $P_k=f(T_k)$; $T_k=t_{w2}+3$, бар.	- ≥ ≤ -	- ↑↓
Температура кипения (T_0).	Из постр. цикла $T_0=f(P_0)$, °C.	- ≥ ≤ -	- ↑↓
Температура конденса- ции (T_k).	Из постр. цикла $T_k=f(P_k)$, °C.	- ≥ ≤ -	- ↑↓
Величина перегрева перед компрессором	$SH = t_1 - t_7$, °C.	- ≥ ≤ -	- ↑↓
Величина переохла- ждения за конденсато- ром	$SC = t_4 - t_5$, °C.	- ≥ ≤ -	- ↑↓
Удельная массовая хо- лодопроизводитель- ность.	$q = h_7 - h_6$, кДж/кг.	- ≥ ≤ -	- ↑↓
Удельная объемная хо- лодопроизводитель- ность.	$q_v=q_0/v_1$, кДж/м³.	- ≥ ≤ -	- ↑↓
Удельная работа сжа- тия в компрессоре	$Aw = h_2 - h_1$, кДж/кг.	- ≥ ≤ -	- ↑↓
Массовая подача хла- дагента	$G_0=3600 \cdot Q_0/q_0 = \alpha P_{вал.} / l$, кг/час.	- ≥ ≤ -	- ↑↓
Часовой объем пара хладагента всасывае- мого компрессором	$V=G_0 \cdot v_1$, м³/час.	- ≥ ≤ -	- ↑↓
Часовой объем описан- ный поршнями комп- рессора	$V_h=V_0/\lambda$, м³/час.	- ≥ ≤ -	- ↑↓
Степень сжатия в ком- прессоре	P_k / P_0	- ≥ ≤ -	- ↑↓
Коэффицієнт подачи компресора	$\lambda=[1-C(P_k/P_0 -1)] \cdot T_0/T_k$ $C=0,015 \dots 0,05$	- ≥ ≤ -	- ↑↓
Холодопроизводитель- ность	$Q_0 = G_0 \cdot q_0$, кВт.	- ≥ ≤ -	- ↑↓

На рисунку 1 представлена упрощенна схема одноступенчатої компресійної СХУ. Характерні точки отмечено цифрами від 1 до 7.

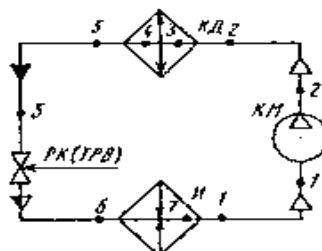


Рисунок 1 – Упрощенна схема СХУ
КМ-компресор; КД-конденсатор; ТРВ – терморегулюючий вентиль; І - испаритель.

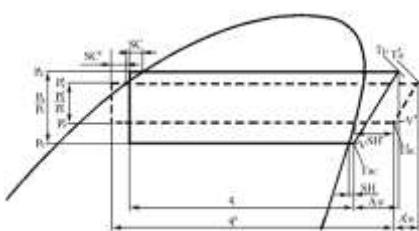


Рисунок 2 – Ig P-h діаграмма при неисправності компресора

Таблиця 2 – Измінення параметрів при неисправності компресора

P ₀ ↑	P _k ↓	T _{bc} ↑	T _h ↑	SH ↑	SC = const	q ↑	Aw ↓	P _k / P ₀ ↓	V ↓
------------------	------------------	-------------------	------------------	------	------------	-----	------	-----------------------------------	-----

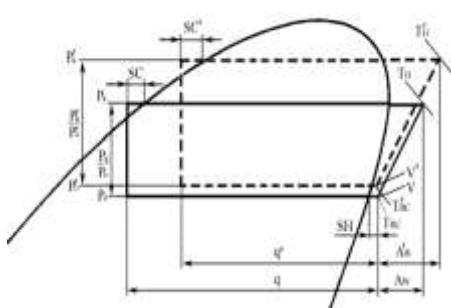


Рисунок 3 – Цикл в Ig P-h діаграммі при «слабому» конденсаторі

Таблиця 3 – Измінення параметрів при «слабому» конденсаторі

P ₀ ↑	P _k ↑	T _{bc} ↑	T _h ↑	SH = const	SC = const	q ↓	Aw ↑	P _k / P ₀ ↑	V ↑
------------------	------------------	-------------------	------------------	------------	------------	-----	------	-----------------------------------	-----

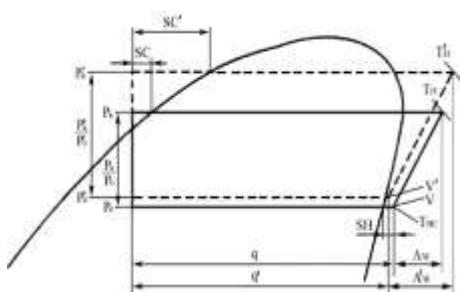


Рисунок 4 – Ig P-h діаграмма при перезаправці хладильної машини хладагентом

Таблиця 4 – Измінення параметрів при перезаправці хладильної машини хладагентом

P ₀ ↑	P _k ↑	T _{bc} = const	T _h ↑	SH ↑	SC ↑	q = const	Aw ↑	P _k / P ₀ ↑	V ↑
------------------	------------------	-------------------------	------------------	------	------	-----------	------	-----------------------------------	-----

Далі приведені відхилення Ig P-h діаграмми від норми на основних елементах СХУ та причини цих відхилень (неисправностей):

1. «Слабий» компресор.

На рисунку 2 представлена ситуація, коли давлення конденсації нижче норми, в то часі як давлення кипіння перевищує дозволене значення. Подібне може відбуватися через неисправності клапанів на нагнетальній або всасуючій лінії компресора.

Несмотря на те, що ступінь сжаття знижується, холодопроизводительность зростає завдяки тому, що цикл сжаття в компресорі сокращається.

2. «Слабий» конденсатор.

Причинами «слабого» конденсатора можуть бути: недостаточне кількість охолоджуючої води; висока температура охолоджуючої води; загрязнення або частична закупорка; наявність в системі повітря чи неконденсируючих газів; перезаправка хладагентом.

Неисправності, які можуть виникнути при «слабому» конденсаторі: спробування реле високого тиску; збільшення робочого струму, перегрів, і відмова компресора; з'ява пузыроків газу в рідкій фракції хладагента (наблюдається в смотровому скла на рідинній лінії); пульсації температури на виході ТРВ; зниження холодопроизводительности.

3. Перезаправка СХУ хладагентом.

Характерними відхиленнями при перезаправці хладагентом є: підвищення тиску конденсації; підвищення температури нагнетання; збільшення переохолодження.

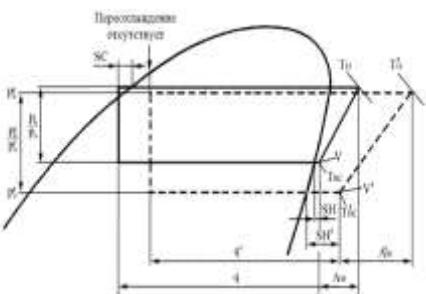


Рисунок 5 – $lg P$ - h диаграмма при недостаточном количестве хладагента

4. Недостаточное количество хладагента в СХУ.

Характерными отклонениями при недостаточном количестве хладагента $lg P$ - h диаграммы являются: снижение давления кипения; снижение или полное отсутствие переохлаждения.

Неисправности, которые могут возникнуть при недостаточном количестве хладагента: срабатывание реле низкого давления; отказ компрессора; снижение холодопроизводительности; уменьшение рабочего тока компрессора.

Таблица 5 – Изменение параметров при недостаточном количестве хладагента

$P_0 \downarrow$	$P_k \downarrow$	$T_{sc} \uparrow$	$T_h \uparrow$	$SH \uparrow$	$SC \downarrow$	$q \downarrow$	$Aw \uparrow$	$P_k / P_0 \uparrow$	$V \uparrow$
------------------	------------------	-------------------	----------------	---------------	-----------------	----------------	---------------	----------------------	--------------

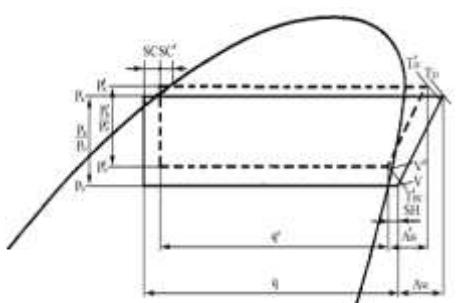


Рисунок 6 – $lg P$ - h диаграмма при неправильной настройке ТРВ

5. Неправильная настройка или неисправность ТРВ.

Недостаточное количество хладагента, проходящее через ТРВ, приводит к снижению давления кипения и повышению переохлаждения. Причинами этого может быть: засорение фильтра ТРВ и фильтра-осушителя; неправильная настройка или неисправность ТРВ.

Неисправности, которые могут возникнуть при недостаточном количестве хладагента, проходящем через ТРВ: срабатывание реле низкого давления; отказ компрессора; снижение холодопроизводительности; уменьшение рабочего тока компрессора.

Слишком большой поток хладагента, проходящий через ТРВ, приводит к повышению давления кипения (рисунок 7).

Причины могут быть следующими: неточно отрегулирован ТРВ; неправильно установлен термобаллон ТРВ.

Неисправности, которые могут возникнуть из-за избыточного количества хладагента в установке, использующей ТРВ в качестве регулятора потока хладагента: отказ компрессора; снижение холодопроизводительности; уменьшение рабочего тока компрессора; срабатывание реле высокого давления.

Таблица 6 – Изменение параметров при неправильной настройке ТРВ

$P_0 \uparrow$	$P_k \uparrow$	$T_{sc}=const$	$T_h \downarrow$	$SH \downarrow$	$SC \downarrow$	$q \downarrow$	$Aw \downarrow$	$P_k / P_0 \downarrow$	$V \downarrow$
----------------	----------------	----------------	------------------	-----------------	-----------------	----------------	-----------------	------------------------	----------------

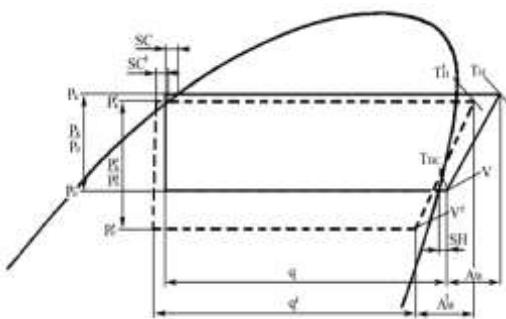


Рисунок 7 – $lg P$ - h диаграмма при «слабом» испарителе

6. «Слабый» испаритель.

Падение давления кипения может происходить из-за того, что в испарителе не происходит достаточный теплообмен. Причины могут быть следующие: недостаточный поток воздуха проходит через испаритель; засорен воздушный фильтр; соскальзывает ремень вентилятора; вентилятор испарителя вращается в обратную сторону; засорен испаритель; низкая температура воздуха на входе в испаритель.

Неисправности, которые могут возникнуть при низком давлении кипения по причине «слабого» испарителя: срабатывание реле низкого давления; отказ компрессора; снижение холодопроизводительности; уменьшение рабочего тока компрессора.

Таблица 7 – Изменение параметров при «слабом» испарителе

$P_0 \downarrow$	$P_k \uparrow$	$T_{sc} \downarrow$	$T_h \downarrow$	$SH \downarrow$	$SC=const$	$q \downarrow$	$Aw \uparrow$	$P_k / P_0 \uparrow$	$V \uparrow$
------------------	----------------	---------------------	------------------	-----------------	------------	----------------	---------------	----------------------	--------------

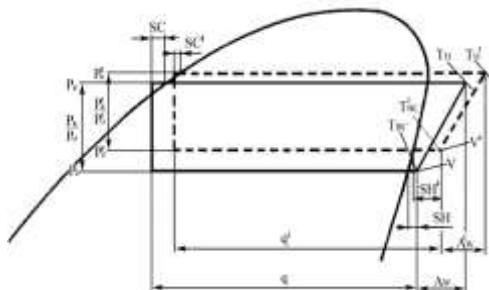


Рисунок 8 – $lg P$ - h диаграмма при повышенных теплопритоках

7. Повышенный теплоприток.

Перегрузка по отбору холода (повышенный теплоприток) может вызывать снижение переохлаждения, повышение давления кипения (рисунок 8, таблица 8).

Причины перегрузки могут быть следующие: работа установки в условиях постоянного отбора холода (повышенный теплоприток); неправильный подбор оборудования (недостаточная холодопроизводительность).

Таблица 8 – Изменение параметров при повышенных теплопритоках

$P_0 \uparrow$	$P_k \uparrow$	$T_{sc} \uparrow$	$T_u \uparrow$	$SH \uparrow$	$SC \downarrow$	$q=const$	$Aw \uparrow$	$P_k / P_0 \downarrow$	$V \downarrow$
----------------	----------------	-------------------	----------------	---------------	-----------------	-----------	---------------	------------------------	----------------

III. ВЫВОДЫ

1. Исследование действительного цикла СХУ путем определения термодинамических параметров в характерных точках позволяет определить изменения теплотехнических характеристик в процессе ее эксплуатации.

2. Определение изменений теплотехнических характеристик СХУ в процессе эксплуатации позволяет оценить отклонения $lg P$ - h диаграммы от нормы, и исходя из этого определить характер конкретной неисправности.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Очеретяній Ю.А, Живиця В.І, Белый В.Н, Онищенко О.А, Вайнфельд Э. І.** Концепція системи комп'ютерного моніторинга і технічної діагностики рефрижераторної установки судна./ - Судові енергетичні установки .- 2011.- №28. С. 5-11.

2. **Соломатин С.Я.** Основы технической диагностики./ – Одесса: ОНМУ, 2007. – 80 с.

3. **Загоруйко В.А, Загорученко В.А.** Рабочие вещества холодильных машин рефрижераторных транспортов и газовозов. – М.: Мортехинформреклама, 1985. – 40 с.

4. **Петров Ю.С.** Судовые холодильные машины и установки: – Л.: Судостроение, 1991. – 400 с.

5. **Загоруйко В.А.** Судовая холодильная техника / В.А. Загоруйко, А.А. Голиков. – К.: Наукова думка, 2000. – 607 с.

6. **Слынько А.Г., Очеретяній Ю.А.** Експлуатація судових холодильних установок и систем кондиционирования воздуха.- Практикум по выполнению лабораторных работ. ОНМУ. Одеса. 2010 г. С. 3-165.

Получена в редакции 27.05.2013, принятая к печати 04.06.2013